

## الباب الثامن

### نظم الري

#### IRRIGATION SYSTEMS

تشكل الأمطار والتلوج المصدر الرئيس للمياه الموجودة في الطبيعة، يتدفق قسم من الأمطار فوق سطح الأرض مكوناً المياه السطحية (الأنهار والبحيرات)، أو قسم منه يتغلغل إلى أعماق التربة فيغذي المياه الجوفية. وعملية تكون الأمطار والتلوج وتوزيعها على الكرة الأرضية تمثل الدورة الهيدرولوجية أو الدورة المائية في الطبيعة.

ولكى يتم توفير الاحتياجات المائية للمحاصيل فيلزم إضافة الماء إلى الأرض. ويتم ذلك إما بصورة طبيعية فيما يعرف بالري الطبيعي وهو الذي تهيئه الأمطار في مكان سقوطها، أو يتم نتيجة لقيضانات الأنهار وغمر الأراضي المجاورة، وفي كلتا الحالتين يجب اختيار نوعية معينة من المحاصيل تتفق احتياجاتها المائية ومواعيد زراعتها مع كمية الأمطار أو القوضانات ومواعيدها ويطبق نظام الري الطبيعي في المناطق المطرية، أو أن يتم إمداد المحاصيل بالماء صناعياً فيما يعرف بالري الصناعي كما هو الحال في المناطق الجافة وشبه الجافة التي تعاني نقص الأمطار شرط توافر مصادر أخرى للماء ويحتاج هذا النظام من الري إلى مجهود بشري للحصول على الماء من المصدر كإنشاء خزانات على الأنهار أو حفر آبار وتوصيل المياه عبر شبكات من القنوات أو الأنابيب إلى الحقول بالكميات المطلوبة وفي المواعيد المحددة. ولقد تضاعف الناتج المحصولي في الدول النامية في المناطق المروية مقارنة بالمناطق المطرية (Postel, 1999).

وهناك أربعة طرق ري رئيسية مستخدمة في أنحاء العالم مقسمة على أساس كيفية توزيع الماء وإيصاله إلى التربة، وهذه الطرق هي:

١- الري السطحي

٢- الري تحت السطحي

٣- الري بالرش

٤- الري بالتنقيط

وقبل الشروع في اختيار طريقة الري لأي مشروع أو منطقة يجب دراسة النقاط

التالية:

١- صفات التربة الفيزيائية والكيميائية

٢- طبوغرافية الأرض

٣- مصدر وكمية المياه المتاحة ومدى صلاحيتها للري

٤- نوع المحاصيل الزراعية المراد زراعتها

٥- الحدود الاقتصادية والتكلفة الأولية

وبعد الانتهاء من دراسة هذه العوامل يتم اختيار طريقة الري بحيث تحقق

الأهداف التالية:

١- توصيل وتوزيع المياه بشكل متجانس ومنظم بقدر الإمكان إلى كافة أجزاء الحقل.

٢- تلبية الاحتياجات المائية للمحاصيل خلال فترات النمو المختلفة.

٣- تقليل الفوائد المائية سواء كانت سطحية أو تسرب عميق.

٤- الحفاظ على التربة من الانجراف للحفاظ على خصوبة التربة.

٥- تجنب تراكم الأملاح في التربة.

### صفات نظام الري الفعال

يتصف نظام الري الفعال بخاصيتين هما انتظام توزيع الماء النافذ وكفاءة نظام

الري

## ١ - انتظام توزيع الماء النافذ Uniformity

وهو يشير إلى عدالة توزيع الماء النافذ إلى منطقة انتشار الجذور خلال الحقل ويعتمد ذلك في المقام الأول على نظام الري المتبع وإدارته الجيدة. وفي حقيقة الأمر لا يوجد نظام ري يوفر توزيع متماثل للماء بالحقل بنسبة ١٠٠%، فمهما كانت كفاءة نظام الري فلا تزال هناك مناطق بالحقل تكتسب كمية ماء أكبر أو أقل من غيرها. وكلما كان عدم انتظام توزيع الماء بالحقل كبيراً كلما كان هناك تباين كبير في توزيع الماء النافذ إلى منطقة الجذور عبر أجزاء الحقل كما يكون هناك فقد كبير للماء بعيداً عن منطقة انتشار الجذور.

## ٢ - كفاءة نظام الري Irrigation Efficiency

ويشير هذا المصطلح إلى كمية الماء المطلوبة لإنتاج المحصول بالنسبة لكمية الماء المضافة، وبالطبع تختلف هذه الكمية باختلاف نظام الري المتبع وفيما يلي نبذة عن كل طريقة من طرق الري المختلفة.

## الري السطحي Surface Irrigation

تعتبر هذه الطريقة من أقدم طرق الري المستخدمة وأكثرها شيوعاً، لأنها لا تحتاج إلى تقنية حديثة كما لا تحتاج إلى تكلفة عالية مقارنة بطرق الري الأخرى.

المساحات المزروعة بهذه الطريقة تفوق تلك المروية بطرق الري الأخرى خصوصاً في الدول النامية، وفي هذه الطريقة يضاف الماء إلى سطح التربة من خلال إطلاقه من قنوات مائية أو أنابيب موجودة عند رأس الحقل ليتحرك الماء سطحيًا فيعمل على عمر الأرض والنفوذ إلى داخلها، وفي نفس الوقت ينساب الماء إلى بقية أجزاء الحقل الأخرى باتجاه الانحدار. ويتطلب إضافة الماء بطريقة سليمة بهذه الطريقة تصميم الحقل بنظام خاص.

ولكي تكون الطريقة ذات كفاءة جيدة يجب أن يكون معدل إضافة الماء أكبر من معدل رشح التربة لكي يعمل على انسياب الماء فوق سطح الأرض وتوزيعه على كافة

أجزاء الحقل بتجانس وكذلك انتشار الماء فوق سطح التربة بسرعة مناسبة للحد من الفواقد المائية نتيجة للتسرب العميق بعيدا عن منطقة انتشار الجذور.

وفي نفس الوقت يجب أن لا يكون معدل الإضافة كبير جدا بحيث يسبب حر التربة، وعليه لا بد من تحقيق توازن بين معدل الإضافة ومعدل الرش عند تصميم أنظمة الري السطحي. كما يجب مراعاة احتمال تسرب كميات كبيرة من الماء تحت منطقة الجذور عند بداية الحوض مقارنة مع نهايته.

### تجانس وانتظام توزيع الماء بنظام الري السطحي

يرتبط نظام الري السطحي بخاصيتين أولهما هو الوقت المستغرق لغمر سطح الأرض للحقل المراد ريه وهذا بدوره يرتبط بمعدل نفاذية الأرض للماء، معدل الانسياب السطحي، انحدار الأرض، خشونة سطح التربة وثانيهما مدة بقاء الماء على سطح الأرض *Recession* عقب انتهاء الري. ويشير الفرق بين تلك الخاصيتين إلى مدة نفاذ الماء بالأرض عند أي مسافة على طول الحقل. حيث أن اختلاف مدد نفاذ الماء بالأبعاد المختلفة بالحقل الواحد يؤدي إلى عدم تعادل توزيع نفاذ الماء بالحقل وقد أشار *Tarboton and Wallender (1989) and Childs et al (1993)* إلى أن اختلاف قوام الأرض يؤثر بشدة على انتظام نفاذ الماء

وعموما هناك عوامل مؤثرة على تجانس وانتظام توزيع الماء بطرق الري السطحي هي:

١- مقدار التصريف المائي المتاح

٢- مساحة الحقل

٣- معدل رشح التربة

ويمكن التحكم بمقدار التصريف والمساحة المروية بهذه الطريقة بما يتلاءم مع معدل رشح تربة الحقل، بحيث يكفي التصريف لتغطية المساحة قبل أن يتسرب جزء كبير من ماء الري إلى أعماق التربة عند بداية موضع الري، ويجب أيضا استخدام تصريف كبير أو مساحات صغيرة أو الاثنين معا في حالة ري الأراضي ذات النفاذية العالية.

## أساليب الري السطحي

### أولاً: الري بالأحواض Basin

تشبه هذه الطريقة طريقة الري بالشرائح في كونها يعتمدان أساساً على تغطية الماء لسطح التربة بالكامل، وتنقسم هذه الطريقة إلى ما يلي:

#### ١- الأحواض المستطيلة

في هذه الطريقة يقسم الحقل إلى أحواض (بلوطات) صغيرة مستوية ومستطيلة كما في الشكل (٨-١)، محاطة بحواجز ترابية (والتي تشتمل على قنوات رئيسية وفرعية ويتكون طولية وعرضية). وهذه الطريقة تلائم التربة ذات معدل الرشح العالي، التي يجب أن تغطي بالماء بسرعة للحد من التسرب العميق، وتتم عملية الري لهذه الأحواض عن طريق قنوات صغيرة تقع بين الأحواض حيث تملأ الأحواض بالماء حتى ارتفاع معين يستبقى عليه محتجزاً حتى يسمح بتغاذ الماء إلى العمق المطلوب. وتتحدد مساحة الحوض بكمية المياه المتوفرة ونوع الأرض وطبيعة انحدارها وعموماً فإنه لسهولة السيطرة على تحانس توزيع المياه بكفاءة داخل الحوض الواحد يلزم تقليل مساحة الحوض في الأراضي شديدة الانحدار والأراضي الخفيفة أو ذات القوام الرملى وعند التدفق أو التصريف البطيء للماء أثناء دخوله إلى الحوض (الري على البارد) وفي حالة ما يكون العمق المطلوب للري قليل خاصة عند زراعة محاصيل حساسة لزيادة الماء وكذلك عندما تنشأ هذه الأحواض يدوياً أو باستعمال الحيوانات، وعلى العكس من ذلك فيلزم زيادة مساحة الحوض في الأراضي المستوية أو قليلة الانحدار والأراضي الثقيلة أو الطينية وعند التدفق أو التصريف السريع للماء أثناء دخوله إلى الحوض (الري على الحامى) وفي حالة ما يكون العمق المطلوب للري كبير خاصة عند زراعة محاصيل محبة للماء وكذلك عندما تنشأ هذه الأحواض ميكانيكياً.



شكل (٨-١) طريقة الري السطحي بالأحواض المستطيلة

وهناك صورة أخرى لشكل الحوض حيث قد يكون مستدير كما في حالة زراعة الأشجار كما في الشكل (٨-٢).



شكل (٨-٢) طريقة الري السطحي بالأحواض المستديرة

## ٢- الشرائح Straight borders or strips

ويقسم الحقل بهذه الطريقة إلى شرائح مستوية ومستطيلة موازية لاتجاه إنحدار الأرض كما في الشكل (٨-٣) يفصلها عن بعضها البعض حواجز ترابية أو بتون

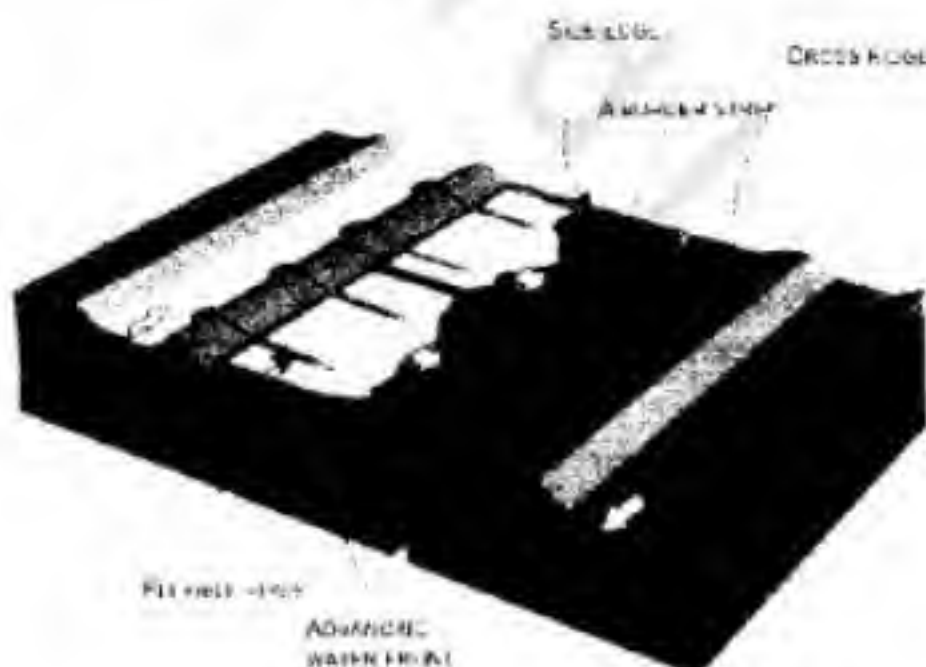


طولية، وفي هذه الحالة يتم إمداد الأرض المستوية للشرائح بالماء لينساب في اتجاه الانحدار ويؤخذ الماء من قناة عند رأس الحقل باستخدام أنابيب مرنة أو سيقون كما في الشكل (٨-٤).



شكل (٨-٣) الري السطحي بالشرائح

وفي هذه الطريقة تحصل كل شريحة على كمية الماء المطلوبة مستقلة عن بعضها البعض كما في الشكل (٨-٤).



شكل (٨-٤) تدفق الماء إلى داخل كل شريحة منفصلة عن الأخرى

وتعتبر طريقة الري بالشرائح مناسبة للمزارع التي تعتمد بشكل كبير أو كلية على استعمال الميكنة الزراعية بحيث تتوافر المساحة الأرضية لعمل الآلات دون وجود عوائق أرضية مثل وجود البنون العرضية كما في طريقة الري بالأحواض. وهنا يجب الإشارة إلى أن طول الشرائح قد يصل إلى ٨٠٠ متر أو أكثر وعرض يتراوح ما بين ٣-٢٠ مترا على حسب العديد من العوامل. ويجب الوضع في الاعتبار أن يكون هناك انحدار لا يقل عن ٠.٠٥% بحيث يتح حركة جيدة للماء مع الصرف المناسب للماء الزائد، ولا يزيد هذا الانحدار عن ٢% للحد من مشاكل الانجراف المائي.

### ٣- الأحواض الكنتورية (أو المدرجات) Contour borders

وهي تشبه الري بالشرائح إلا أن البتون تقام باتجاه الخطوط الكنتورية في الأراضي شديدة الانحدار (شكل ٨-٥)، بحيث لا يزيد فرق الارتفاع من حوض لآخر عن ٦ سم، وتكون عادة مساحة الأحواض الكنتورية أكبر من الأحواض المستطيلة. وتستخدم هذه الطريقة في المناطق الجبلية وغير المسنوية، كما أن هذه الطريقة قد أثبتت نجاحها في ري أشجار الفاكهة التي تعتمد على المطر في نموها.



شكل (٨-٥) الري بالأحواض الكنتورية

### ٤- الغمر الحر Free flooding

يترك الماء بهذه الطريقة بالتدفق من قنوات الري المجهزة لينساب فوق سطح أرض الحقل ليغطي معظم المساحة الكلية، وبهذه الطريقة يتدفق الماء باتجاه



الانحدارات الشديدة، تمتاز هذه الطريقة بعدم وجود حواجز ترابية، ولا تحتاج الأرض إلى تهيئة أو تقسيم قبل الري، ومن أبرز عيوبها هو حاجتها إلى الكثير من الأيدي العاملة للسيطرة على المياه، بالإضافة إلى الفوائد المائية الكبيرة الناتجة عن الجريان السطحي والتسرب العميق.

### ثانياً: الري بالخطوط Furrow

تستخدم هذه الطريقة منذ القدم في ري الكثير من المحاصيل الزراعية مثل محاصيل الذرة والبطاطس والقطن، وهي عبارة عن سواقي صغيرة متوازية تحفر في الحقل، يملأ الماء جزء من سطح التربة يتراوح ما بين ٢٠-٥٠%، ويتم عملية لبتلال منطقة الجذور خلال حركة الماء الجانبية من الخطوط نتيجة لاختلاف الشد الرطوبي. ويتم عملية نقل الماء مباشرة من القنوات المجهزة إلى الخطوط من خلال فتحات صغيرة (شكل ٨-٦) أو أنابيب السيفون المصنوعة عادة من مادة البلاستيك أو المطاط أو أنابيب خفيفة من الألمنيوم مجهزة بفتحات (شكل ٨-٧).

وتتحدد أبعاد الخطوط حسب طبيعة التربة و نوعية المحاصيل و طبيعة الآلات الزراعية المتوفرة وعموماً تتراوح المسافة بين الخطوط ما بين ٠,٥ إلى ١,٠ متر، وتتراوح أعماقها ما بين ٠,٢٥-٠,٣ م وانحدار طولي بحدود ٠,٢% وبأطوال تتراوح ما بين ٥٠-٥٠٠ متر، معتمدة على قوام التربة ونوع المحصول.



شكل (٨-٦) نقل الماء مباشرة من القنوات المجهزة إلى الخطوط من خلال فتحات صغيرة في نظام الري بالخطوط



شكل (٧-٨) نقل الماء من خلال أنابيب السيفون المصنوعة عادة من مادة البلاستيك أو المطاط أو أنابيب خفيفة من الألمنيوم مجهزة بفتحات في نظام الري بالخطوط

### الري تحت السطحي Sub Surface Irrigation

تعتمد هذه الطريقة على ري التربة من الأسفل بحيث يُستفاد من حركة الماء بالخاصية الشعرية. وفي هذه الطريقة يتم عمل شبكة من المواسير بباطن الأرض وقريبة من السطح على بعد يتراوح بين ٣٠-٥٠ سم وتتكون الشبكة من مواسير رئيسية ذات وصلات متصلة تنقل المياه إلى مواسير فرعية متداخلة مع بعضها بوصلات غير ملحومة، تلك الوصلات طولها لا يزيد عن ٥٠ سم على أن توضع بحيث يوجد فراغ بينهما حوالي ٢ ملليمتر وتسير المياه في المواسير الرئيسية تحت ضغط مناسب بواسطة طلمبة أو مصدر مائي مرتفع فتتسرب المياه من بين وصلات المواسير الفرعية إلى باطن الأرض فتعطي الرطوبة المناسبة ويمجرد ظهور الرطوبة على سطح الأرض يتم إيقاف إضافة المياه. وتتميز هذه الطريقة بما يلي:

- ١- ارتفاع كفاءة الري عن الري بالغمر والري الرذاذي
- ٢- ضالة البخر من السطح أثناء الري وبعدم ببضعة أيام وبالتالي تحتفظ التربة بالرطوبة لمدة طويلة ولذا فهي مفضلة في المناطق الحارة حيث البخر السطحي كبير
- ٣- يمكن بها زراعة الأرض على طبيعتها الطبوغرافية دون عمل تسوية
- ٤- لا تعوق العمليات الزراعية
- ٥- تحافظ على بناء التربة
- ٦- لا ينتج عنها تكوين قشرة سطحية أرضية

ويشترط لاستعمال هذه الطريقة في الري خلو التربة تماما من الأملاح لاحتمال ارتفاع الأملاح خلال مقطع التربة، كما يجب أن تكون التربة سريعة النفاذ كالأراضي الرملية، ويعاب على تلك الطريقة أن الرطوبة في التربة لا تكون موزعة بانتظام فهي بجوار الوصلات المفتوحة تكون أكبر منها في المناطق المجاورة لمنتصف الوصلة كما يعاب عليها كثرة التكاليف عند الإنشاء وكذلك عند التشغيل وتحتاج إلى جهد كبير في تنظيف وصيانة أنابيب الري المستعملة ولذا فهي قليلة الاستعمال.

### الري بالرش Sprinkler Irrigation

يعتبر الري بالرش أحد طرق الري غير التقليدية حيث يتم فيها رش الماء في الهواء لكي يسقط على سطوح النباتات والتربة. وهي محاكاة للري الطبيعي بالمطر حيث تصل المياه للنباتات في صورة رذاذ. وينساب الماء في هذه الطريقة تحت ضغط من خلال ثقوب صغيرة أو رشاشات والتي يخرج منها الماء في صورة قطرات تتساقط بفعل الجاذبية الأرضية. وينفذ الماء المتساقط إلى منطقة انتشار الجذور ويخزن بها تدريجياً ويستمر الري حتى يتم تخزين كمية الماء المطلوبة بتلك المنطقة وهي تمثل كمية الماء اللازمة لنمو النبات.

لقد تقدمت طريقة الري بالرش بتقدم تكنولوجيا صناعة أنابيب الألومنيوم الخفيفة الوزن والرخيصة نوعاً، وإمكان التحكم في كمية المياه المضغوطة داخل المواسير، ويتم التحكم في الضغط بحيث لا يقل الضغط عن 3 ضغط جوي حتى لا يؤدي إلى سقوط قطرات كبيرة من المياه وانتشارها على سطح النباتات.

#### مميزات وفوائد الري بالرش:

1. تستخدم في ري الأراضي ذات الانحدار الشديد أو غير مستوية السطح دون الحاجة إلى إنشاء قنوات مائية (Hove, 2011) وفي الأراضي التي بها طبقة متماسكة في منطقة تحت التربة تمنع صرف الماء الزائد.
2. تلائم المناطق الزراعية ذات كميات المياه المحدودة
3. تجنب فقد الماء سطحياً أو بعيداً عن منطقة انتشار المجموع الجذري

٤. توفر توزيع منتظم للمياه في جميع أجزاء الحقل.
٥. إمكانية إضافة السماد ورش المبيدات مع ماء الري بالرش مما يوفر من تكاليف عمليات التسميد والرش بالمبيدات.
٦. تستخدم في ري الأراضي عالية النفاذية (الرمليّة والخفيفة).
٧. تلائم التربة ذات المقطع غير المتجانس.
٨. تقلل من نحر التربة وتحافظ على خصوبة التربة خاصة في الطبقة السطحية.
٩. تلائم الترب ذات مستوى الماء الأرضي العالي.
١٠. توفير الأيدي العاملة.
١١. إمكانية استخدامها لحماية المحاصيل من الصقيع وضد ارتفاع درجات الحرارة.
١٢. يمكن أن تستخدم في ري معظم المحاصيل.

#### عيوب الري بالرش:

١. ظهور بعض الأملاح على سطح التربة وإن كانت أقل من الري السطحي.
٢. تساعد الرطوبة الزائدة فوق النباتات على انتشار الأمراض الفطرية والبكتيرية.
٣. ارتفاع التكاليف المبدئية لهذا النظام لارتفاع المنطقة اللازمة للتشغيل (Hove, 2011)
٤. الحاجة إلى عمال ذوي خبرة فنية في التشغيل.
٥. يحتاج الاستعمال الاقتصادي لجهاز الري بالرش إلى مصدر مائي ثابت كما أن الماء المستعمل يجب أن يكون نظيفاً وخالي من الرمل والشوائب.
٦. استعمال المياه ذات النوعية الرديئة في الري يؤدي إلى إتلاف المجموع الخضري أو الثمرى للنبات.
٧. هذه الطريقة غير مناسبة للأراضي التي تكون قشرة سطحية صلبة عند جفاف سطحها
٨. إذا زادت السرعة المتوسطة للرياح في منطقة ما خلال الموسم الزراعي عن ٢٥ كم / ساعة فإن هذه المنطقة تعتبر غير مناسبة لاستخدام الري بالرش.
٩. يزداد فقد الماء في نظام الري بالرش عند ارتفاع درجة حرارة الجو نتيجة لزيادة معدلات التبخير (Hove, 2011).

## طرق الري بالرش

وفقاً للتركيب وطريقة التشغيل تنقسم طرق الري بالرش إلى نظم الري بالرش الاعتيادية ونظام الري بالرش المتحركة.

### أولاً: نظم الرش الاعتيادية (التقليدية)

#### أ- نظام الري النقالى (المتنقل):

تكون الأنابيب الفرعية والرئيسية والمضخة في هذا النظام متحركة من مكان لآخر تبعاً لحاجة الري، تمتاز هذه الأنظمة بتكلفتها الأولية المنخفضة نسبياً، إلا أن أهم عيوبها هي تكلفة تشغيلها عالية وتحتاج إلى عمالة كثيرة.

وبهذه الطريقة ينقل عادة الخط الفرعي من مكان إلى آخر حتى الانتهاء من ري المساحة، ثم تنقل هذه الأنابيب مع الأنابيب الرئيسية والمضخة إلى موقع أو حقل آخر لري المساحة الثانية، وهكذا تستمر عملية نقل النظام إلى أن يكتمل ري الحقل بأكمله.

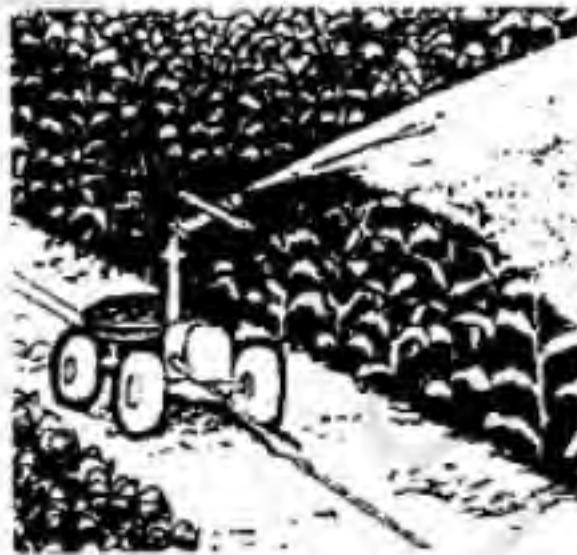
والري بهذه الطريقة قد يكون:

- ري بالرش النقالى اليدوي حيث يتم نقل الخطوط الفرعية يدوياً من مكان ثم ريه إلى آخر لم يتم ريه وهكذا حتى يتم ري المساحة بالكامل،
- أو الري بالرش النقالى على عجل متدحرج كما في شكل (٨-٨)،
- أو الري بالرش النقالى بالمدفع المتنقل كما في شكل (٩-٨) وهو نظام ري مزود برشاش كبير يرفع الماء لمسافات بعيدة نسبياً وذو سعة عالية مركب على عربة ومتصل بخراطوم ينقل الماء من المصدر، وتسحب العربة على امتداد الحقل أما بسلك أو بخراطوم الماء نفسه، وتدار البكرة إما بواسطة الضغط المائي أو بواسطة ماكينة احتراق داخلي، ويحتاج هذا النظام إلى ضاغط تشغيل مقاداره لا يقل عن ٥٥ متر. ومن فوائد هذا النظام هو سهولة وسرعة نقله من موقع إلى آخر مما يساعد على سقي عدة حقول.





شكل (٨-٨) الري بالرشف النقالى على عجل متدحرج



شكل (٩-٨) الري بالرشف النقالى بالمنفع

#### ب- نظام الري نصف النقالى:

تكون الأنابيب الفرعية في هذا النظام متحركة، أما الأنابيب الرئيسية والمضخة تكون ثابتة، وعادة تكون الأنابيب الرئيسية مدفونة تحت سطح التربة، وبفضل أن يكون الأنبوب الرئيسي في وسط الحقل قدر الإمكان بحيث يؤمن ري الحقل بصورة متجانسة

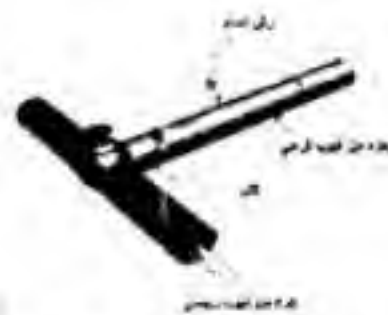


## ج- نظام الري الثابت:

وهي تمثل شبكة ثابتة وموزعة حسب التصميم على مسافات يتم تحديدها أثناء الإنشاء وهي عادة تكون  $9 \times 9$  أو  $12 \times 12$  أو  $15 \times 15$  أو  $18 \times 18$  وغيرها من الأبعاد.

يتم في هذا النظام تثبيت جميع الأجزاء كالأنابيب الرئيسية والمضخة والأنابيب الفرعية. يخرج من كل أنبوب رئيسي عدد من الأنابيب الفرعية يتراوح عدده من ٤-٦ أنابيب و الأنابيب الفرعية قد تكون مثقبة perforated pipes (شكل ٨-١٠) وفي هذه الحالة تكون أنابيب الخطوط الفرعية مصنوعة من الصلب أو الألومنيوم تتراوح أقطارها بين ٥-١٥ سم وتحتوي على ثقوب موزعة في تصميم نموذجي خاص لتوزيع المياه توزيعاً متجانساً. ويصمم هذا النظام في حالة الضغوط المنخفضة والتي تتراوح بين ٠,٥-٢,٥ كجم/سم<sup>٢</sup> وتتراوح معدل الري بهذه الطريقة من ١٦-٥٠ مم/ساعة ويكون الرش من هذه الثقوب مباشراً وعلى جانبي الخط الفرعي ويمكن أن يغطي شريط من سطح الأرض يصل عرضه من ٦-١٥ م وهنا يجب تنقية مياه الري من الشوائب من خلال مرشحات خاصة بذلك وقبل دخول المياه إلى النظام حتى لا يحدث انسداد للثقوب. وفي الغالب يتم تثبيت رؤوس رشاشات rotating heads (شكل ٨-١١) على مسافات منتظمة على امتداد طول الأنابيب الفرعية وفي هذه الحالة يتركب النظام من رشاشات ذات حجم صغير متصلة مباشرة بالأنبوبة الفرعية أو موضوعة على قوائم أو حوامل مثبتة على مسافات منتظمة على امتداد أطوال خطوط الأنابيب الفرعية وتوضع الخطوط الفرعية عادة على سطح الأرض وتدور هذه الرشاشات بزاوية مقدارها ٩٠° وتوزيع المياه الخارجة من فوهة الرشاشات تشبه شكل مخروط قمته عند فوهة الرشاش وبالتالي ينبثق الماء من الرشاش ليعطي مساحة دائرية نصف قطرها ٨-١٠ متر تقريباً ويلزم أن توزع الرشاشات على الأنابيب الفرعية بالحقل إما بشكل متقابل أو متبادل بما يسمح بوجود تداخل بين المسطح الدائري لسقوط رذاذ الماء الناتج من كل رشاش والآخر لضمان ري جميع أجزاء الحقل دون ترك مساحات بدون ري. ويحتوي كل خط فرعي على عدد من الرشاشات يتراوح ما بين ١٠-١٥ رشاش ويفضل أن لا يزيد عن ٢٠ رشاش بالخط الفرعي الواحد حيث ينخفض الضغط عند رشاشات نهاية الخط مما يسبب عدم تجانس توزيع المياه على مستوى الحقل.

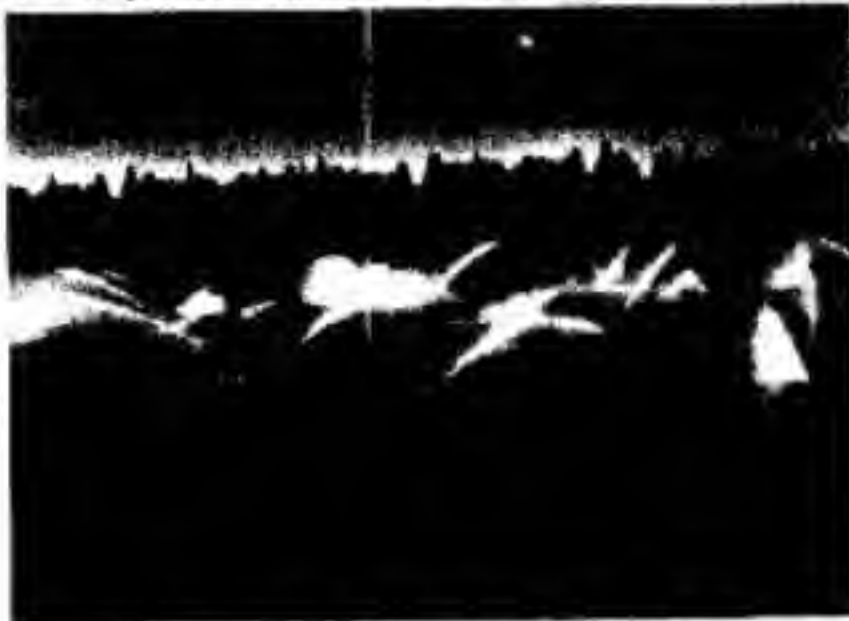
ويتراوح الضغط المستخدم في هذا النظام بين ٢,٥-٤,٥ كجم/سم<sup>٢</sup>. ويتركب الجهاز المستخدم لإدارة رؤوس الرشاشات في هذا النظام من مطرقة صغيرة تنشط بواسطة قوة دفع ضربات الماء ضد ريشة دوارة متصلة بها. ويمكن ري مساحات كبيرة بهذا النظام والاستغناء عن الكثير من الأيدي العاملة. ويوضح شكل (٨-١٢) نظام تشغيل شبكة الري بالرش الثابت.



شكل (٨-١٢) نظام الري بالرش الثابت ذات أنابيب مثقبة



شكل (٨-١١) نظام الري بالرش الثابت ذات أنابيب مثبت عليها رشاشات



شكل (٨-١٢) نظام تشغيل شبكة الري بالرش الثابت

## مكونات نظام الري بالرش الاعتيادية

تتشابه أجزاء نظام الري بالرش في معظم الحالات حيث أنها تشمل على طلبية للإمداد بالضغط المطلوب وخطوط الأنابيب الرئيسية والفرعية والقوائم ورؤوس الرشاشات، وفيما يلي تفاصيل هذه المكونات:

### ١ - الطلبية أو المضخات Pumps

عادة يتم إنشاء وحدة الضخ بالقرب من المصدر المائي، وقد تكون هذه الوحدة في المشاريع الكبيرة ثابتة ومكونة من مضخة واحدة أو أكثر، أو تستخدم مضخة واحدة يسهل نقلها من مكان لآخر في حالة ري مساحات صغيرة موزعة في عدة مناطق. ترفع المضخة أو الطلبية الماء عادة من المصدر وتنقله خلال شبكة التوزيع والرشاشات ومن المهم أن تصمم الطلبية لكي ترفع كمية المياه اللازمة من مصدر الإمداد المائي إلى أعلى نقطة في الحقل مع المحافظة على ضغط التشغيل اللازم. وتستخدم الطلبية القدرة اللازمة لها لسحب وضخ الماء من المحركات الكهربائية، ويعتمد عمل الطلبية عموماً على الضغط الجوي الذي يعادل ١ كجم / سم<sup>٢</sup> وهذا يعادل ارتفاع عمود من الماء مقداره ١٠ م / سم<sup>٢</sup> ولذلك فإنه يجب أن لا يزيد طول عمود السحب عن ٨ م عملياً نظراً لفقد جزء من القدرة نتيجة احتكاك المياه بجدران الطلبية وأنابيب السحب والضخ.

### ٢ - شبكة الأنابيب Pipes

وتكون هذه الأنابيب عادة مدفونة تحت سطح الأرض بعمق لا يقل عن ٨٠ سم أو تكون على سطح الأرض، وتصنع من مواد وبأقطار وأطوال مختلفة، وأن أكثر أنواع الأنابيب شيوعاً هي المصنوعة من مادة الألمنيوم، اللدائن، الحديد، الأسبست، الخرسانة

ويتم تحديد كافة أقطار الأنابيب في أجزاء نظام الري بالرش بالاعتماد على مقدار التصريف المطلوب وعلى مساحة الحقل.

وتتضمن شبكة الأنابيب معطين هما:

### أ- الخطوط الرئيسية وتحت الرئيسية Main and sub main lines

الخطوط الرئيسية (قد يتواجد بشبكة الري بالرش خطوط رئيسية إضافية تسمى الخطوط تحت الرئيسية) إما أن تكون ثابتة (موجودة على سطح الأرض أو مدفونة بها) أو متحركة وهي تأخذ الماء مباشرة من الطلمبات حيث يوضح فيها التصرف اللازم بالضغط المحسوب لتوصيل الماء إلى الأنابيب الفرعية. وتستخدم الأنابيب المعدنية أو أنابيب الأسبستوس أو الأنابيب البلاستيكية في معظم الخطوط الرئيسية وتحت الرئيسية ويؤخذ الماء من الخط الرئيسي إما من خلال صمام مركب عند كل نقطة اتصال بالخط الفرعي أو من خلال جزء على شكل حرف 'T' أو 'L' يزود به الخط الرئيسي في مكان حلقات الاتصال.

### ب- الخطوط الفرعية Lateral lines

هذه الخطوط أحياناً تكون ثابتة وغالباً تكون متحركة وتصلع عادة من أنابيب الألومونيوم مربعة التوصيل وهي متوفرة بأطوال 6 - 12 م وكل طول مزود بوصلات سريعة التركيب. وهي تقوم بتوصيل الماء من الأنابيب الرئيسية أو تحت الرئيسية إلى الرشاشات.

### ٣- رؤوس الرشاشات Sprinkler heads

يعتبر رأس الرشاش أهم جزء في نظام الري بالرش. ومعظم الرشاشات تكون من النوع بطيء الدوران. وتعتبر مميزات وخواص تشغيل الرشاشات تحت ظروف من ضغط الماء والظروف المناخية خاصة الريح عاملاً محدداً لمدى ملائمتها للري.

ويتراوح حجم وسعة الرشاشات من رشاشات صغيرة ذات فوهة واحدة إلى رشاشات كبيرة ذات فوهات متعددة، وعموماً فإنه ينتج عن ضغط الماء وحركة الدوران البطيئة للرشاشات انبثاق الماء واندفاعه إلى مسافة معينة، وهذه المسافة يلزم معرفتها وتحديدتها لكي يمكن وضع الرشاشات على الأبعاد المناسبة وفضلاً عن ذلك فإنه يفضل استعمال الفوهات الأكبر لتقليل مشاكل انسداد الفوهات بالمواد العالقة في مياه الري.

ويتم إنتاج هذه الرشاشات بأنواع مختلفة (شكل ٨-١٣) من حيث حجم الفوهة وظروف التشغيل، فعنها الدوارة أو الثابتة أو الترددية، ومنها ما يعمل تحت ضغط مرتفع أو متوسط أو ضغط منخفض، وتتوقف نوعية الرشاش على المسافة ما بين الرشاشات على الخط الواحد، المسافة ما بين الخطوط، سعة الرشح الثابتة للتربة، ضغط المياه عند فوهة الرشاش، شكل ونوعية الفوهة، سرعة الرياح السائدة في المنطقة، نوعية المحاصيل. وكما سبق فإنه قد تشمل شبكة الري بالرش على أنابيب مثقبة perforated pipes هذه الثقوب هي بديل للرشاشات.



شكل (٨-١٣) طرق متنوعة من الرشاشات

ويتوقف نجاح أنظمة الري بالرش على اختيار نوع وخصائص الرشاشات لذلك من الأهمية القصوى التعرف على الطرق العلمية لاختيار وتقييم الرشاشات كأهم جزء في نظم الري بالرش. في معظم نظم الري بالرش يوزع الرشاش المياه في شكل دائرة وترتب الرشاشات في نظام ينتج عنه تداخل لدوائر الابتلال على المساحة المروية. وتختلف الرشاشات حسب النوع وظروف التشغيل لذلك يجب قياس تصرف الرشاشات عند ضغوط التشغيل Sprinkler head flow rate ويعتبر ذلك من القياسات البسيطة التي يمكن عن طريقها تغادي مشاكل كثيرة في التشغيل الحقل مع التأكد أن التشغيل الحقل يتم بالشكل السليم.

## وهناك طريقتين لقياس التصريف:

- الطريقة الأولى: يتم قياس تصريف الرشاش بتسجيل الوقت اللازم لجمع حجم معين

من الماء الخارج من الرشاش على النحو التالي:-

١. تركيب خرطوم مرن على فوهة أو فوهتي الرشاش.
٢. تشغيل الرشاش وضبط الضغط المراد القياس عنده.
٣. تجميع المياه الخارجة من الرشاش في وعاء معلوم الحجم مع قياس الزمن اللازم لملئه.
٤. يكرر العمل أكثر من مرة ويحسب متوسط الزمن اللازم لملئه.
٥. يحسب تصريف الرشاش كما يلي:

$$q = \frac{V}{t}$$

حيث أن:

q: تصريف الرشاش لتر / ثانية

V: حجم وعاء الاختبار لتر

T: متوسط زمن الملء ثانية

- الطريقة الثانية: يتم بتركيب عداد قياس التصريف على أحد خطوط الرشاشات كما

يلي:-

١. يركب عداد قياس التصريف على أحد خطوط الرشاشات المراد قياس تصريفها.
٢. تشغيل الخط وضبط الضغوط على الضغط المراد القياس عنده.
٣. قراءة عداد التصريف وكذلك قياس كميات المياه المارة من خلال العداد في زمن معين.
٤. يكرر العمل أكثر من مرة ويؤخذ متوسط القراءات.
٥. يحسب تصريف الرشاش q كما يلي:

$$q = \frac{q_l}{N_s}$$



## حيث أن

q: تصرف الرشاش لتر/ ثانية

q: تصرف الخط لتر/ ثانية

Ns: عدد الرشاشات المركبة على الخط

وتعتبر الطريقة الأولى أدق حيث أن الطريقة الثانية تعطى متوسطاً لتصرف الرشاش على الخط كما لا تعطى مؤشراً على تفاوت التصرفات بين الرشاشات على الخط الواحد أو مجموعة الخطوط.

### ٤- مصافي المواد العالقة Depris screens

تختلف مواصفات هذه المصافي إلا أن وظيفتها هي حفظ نظام الري بالرش خالياً من المواد العالقة التي تعمل على انسداد فوهات الرشاشات. وهذه المصافي يجب أن تكون ذات نقوب دقيقة بدرجة تكفي لحجز المواد العالقة. كما يجب إزالة هذه الشوائب من المصافي باستمرار حتى لا تحدث إعاقة لسريان الماء من خلالها إلى الطلمبة.

### ٥- جهاز إضافة السماد Fertilizer applicator

يمكن وضع الأسمدة الكيميائية الذائبة واللازمة للمحاصيل المختلفة من خلال الري بالرش وهذا يسهل عملية توصيل الأسمدة في صورة ذائبة جاهزة للنبات وعند العمق المطلوب، وجهاز إضافة السماد (السمادة) بسيط التركيب حيث يتكون من وعاء محكم الغلق ومجهز بالتوصلات والخراطيم اللازمة التي تغذي الخط الرئيسي للمياه.

### ٦- ملحقات تكميلية:

لا يمكن لنظام الري بالرش أن يؤدي عمله جيداً إلا بعد أن تلحق به بعض أو كل الأجزاء التكميلية التالية:

أ- حامل الرشاش: تثبت الرشاشات على أنابيب أعلى من مستوى المحصول لكي لا يصطدم الماء المنبثق من الرشاشات معه ويعيق عملية توزيع ماء الرش

بشكل متجانس، ويدعى الأنبوب المثبت عليه الرشاش بالأنبوب الحامل، وهو الأنبوب الذي يصل بين أنبوب الرش والرشاش، ويمكن أن يغير ارتفاع الأنبوب الحامل خلال الموسم الزراعي بما يتلاءم مع زيادة ارتفاع المحصول.

ب- وصلات ربط الأنابيب: توجد وصلات وأجزاء أخرى لربط شبكة الأنابيب مثل المنقصات والأكواع والحنيايات والتقسيمات (النهائية والمنقصة والجانبية) والتقاطعات التي توضع في مسار الخط لغرض ربط الأنابيب الفرعية مع الرئيسية وكذلك سدادات النهاية.

ج- الصمامات: تؤدي الصمامات وظائف مهمة ومختلفة تهدف إلى السيطرة على تدفق المياه داخل أنابيب الري بالرش، ومن هذه الأنواع صمامات الخط (فتح وغلق) وصمامات التقسيم والتفريع والتنظيف وطرز الهواء وتخفيف الضغط وصمامات مأخذ المضخات.

د- المنظمات والمقاييس: توجد عدة ملحقات وأجهزة لتنظيم الضغط وقياس التدفق في الأنابيب، وهي تعد ضرورية في تشغيل شبكة الري بالرش وتكوين أدايتها كمنظمات ومقاييس الضغط ومقاييس التدفق.

وعموماً يمكن توضيح مكونات شبكة نظام الري بالرش الثابت في شكل (٨-١٤)



شكل (٨-١٤) مكونات شبكة نظام الري بالرش الثابت

## ثانياً: نظام الري بالرش المحوري

من أشهر طرق الري الحديث في الأراضي المستصلحة حديثاً حيث لا تحتاج التربة إلى تسوية كما أن جهاز الري المحوري يغطي مساحة واسعة من الأرض حوالي ٥٠-٤٠٠ فدان ويتكون الجهاز المحوري للري من نقطة محورية ثابتة في مركز المساحة ويركب عليها ذراع طويل مركب من عدة وصلات لحمل أنابيب المياه ومثبت على الأنابيب فوهات للرش موزعة على أبعاد منتظمة لتغطية المساحة التي تروى ويتراوح طول الذراع المركزي بين ٤٠-٨٠٠ م وتغطي المياه مساحة دائرية، وتروى المساحة خارج دائرة الرش بطريقة ري أخرى مثل الري بالتقطيع أو الري بالخطوط وغيرها.

### مكونات جهاز الري بالرش المحوري:

#### ١- مركز الماكينة:

يتكون من ماسورة قطرها الخارجي ٨ بوصات بداخلها ماسورة أخرى قطرها أقل من الماسورة الخارجية بنحو  $\frac{1}{2}$  -  $\frac{3}{4}$  بوصة. ويمتد المركز في الاتجاه الرأسي إلى ارتفاع حوالي ٤ أمتار وهو مركز دوران الماكينة ويتم من خلاله رفع الكميات اللازمة من المياه (قد يذاب في هذه المياه الأسمدة والمبيدات) بواسطة ظلمية من مصدر المياه إلى أذرع الماكينة. ويتم تثبيت المركز بواسطة أرجل حديدية على قاعدة خرسانية في وسط المساحة المقرر ريها، كما يثبت على هيكل المركز لوحة التحكم الكهربائية الرئيسية.

#### ٢- وصلات المواسير:

يختلف أطوال هذه الوصلات حسب المساحة المراد ريها وعموماً يتراوح أطوال هذه الوصلات من ٤٠-٦٠ متراً وتتركب من مواسير بطول ١,٥ متر وبأقطار ٦-٩ بوصة لكي تناسب الضغوط المتاحة للمياه ويتم تركيب جلب تثبيت مواسير الرشاشات على مسافة معينة من خط المواسير. وتتصل تلك الوصلات مع بعضها عن طريق خطاف ووصلة مرنة من الكاوتشوك وتحمل كل وصلة في نهايتها برج حديدي هو مصدر حركة الدوران للوصلة.

## ٣- الأبراج:

يتكون البرج من هيكل من الزوايا الحديدية مثبت على ماسورة من ٦-٧ بوصات بطول ٤,٢ م مثبت عليها محرك كهربائي يعطى الحركة لصندوقين من التروس والتي تنقل الحركة لعجلة كاوتشوك لتسمح بالدوران. وتتراوح المسافة بين الأبراج ما بين ٢٤-٧٦ متراً.

## طريقة التشغيل

يُضبط اتجاه الدوران المطلوب ثم تضبط مدة تشغيل البرج الأخير والذي يستحكم في سرعة دوران الماكينة وبالتالي في كمية المياه التي تعطيها الماكينة، وبالضغط على مفتاح التشغيل يعمل الجهاز أوتوماتيكياً. ويلاحظ أنه عند حدوث أى عطل أو خلل في عمل الجهاز مثل إنقطاع التيار الكهربى أو انخفاض ضغط الماء فإنه يتوقف أوتوماتيكياً ثم يعود للعمل أوتوماتيكياً بعد زوال هذا الخلل. ويمكن التحكم بسهولة في عمل الجهاز بإيقافه بعد رى مساحة معينة أو تغيير سرعته للتحكم في كمية المياه المراد إضافتها. ويوضح شكل (٨-١٥) نظام تشغيل شبكة الري بالرش الثابت.



شكل (٨-١٥) نظام تشغيل شبكة الري بالرش المحوري.

هناك ما يشابه نظام الري بالرش المحوري يسمى "نظام الري بالرش المتحرك طولياً" حيث يتحرك بخط مستقيم على امتداد الحقل، ويُجهز الأنبوب الرش بالماء بواسطة خرطوم من مصدر الماء في الحقل، ويكون معدل الرش على امتداد الأنبوب ثابتاً وليس متغيراً كما في حالة النظام المحوري.

## انتظامية توزيع المياه لأنظمة الري بالرش

## Water distribution uniformity in sprinkler irrigation systems

تلعب العلاقة بين معدل التساقط من الرشاشات ومعدل الرش للترية دوراً هاماً في نجاح الري وذلك لتقليل الفواقد ولزيادة كفاءة الإضافة. حيث تسقط مياه الرشاشات عملياً إلى جزء صغير من المساحة المروية لمدة قصيرة جداً (خلال بضع ثوان) وتنتقل إلى مساحة أخرى مجاورة وهكذا حتى تكتمل دائرة الرش وتعود إلى نفس الشريحة الأولى التي بدأ منها دوران الرشاش. ويعرف معدل إضافة المياه بالنسبة لهذا الوقت القصير جداً (بالمعدل اللحظي لإضافة الماء). هذا المعدل هام جداً بالنسبة لدراسة تأثير الري بالرش على إجهاد التربة أو هدم بناتها أو تأثيره على باندرات بعض النباتات الضعيفة. ومن الأهمية بمكان معرفة شكل توزيع المياه تحت الرشاشات المستخدمة عند ضغوط التشغيل المختلفة والمركبة على مسافات مختلفة والتي تم اختبارها عند تصميم الشبكة تحت الظروف المناخية السائدة. ومن المفضل قياس ذلك بالحقل وعدم الاعتماد على الكتلوجات الخاصة بكل رشاش والتي تساعد فقط في أعمال التصميم.

ويتم تقييم وقياس انتظامية توزيع المياه لأنظمة الري بالرش على عدة خطوات:

## ١- اختيار أحد الخطوط الفرعية (خطوط الرشاشات) على النحو التالي:-

أ- خط مفرد أو خطين متتاليين من خطوط الرشاشات في أجهزة الري الثابتة والنقال وجهاز الري المجرور والمتحرج.

ب- قطاع تحت أجهزة الري ذو الأجنحة أو المحوري وبطول الجهاز

ج- مسطبل داخل منطقة رش جهاز الري بالمدفع المتقل.

٢- تقسيم منطقة تداخل الرشاشات إلى مربعات طول ضلعها ١-٣ متر حسب المسافة بين الرشاشات على أن تترك ١/٢ مسافة على جانبي الرشاش لوضع أول عليه قياس.

٣- يوضع بناء إسطواني الشكل ذو حجم وعمق مناسب لجميع المياه عند أركان المربعات.

٤- تثبيت الرشاشات المختارة للقياس في اتجاه خارج منطقة التداخل (القياس).

- ٥- يتم تشغيل النظام ويترك فترة حتى يتم تثبيت التصريف والضغط للرشاشات.
- ٦- يقياس ضغط وتصريف الرشاشات باستخدام أجهزة القياس المعروفة (يركب أسفل كل رشاش عدادين لقياس كل من التصريف والضغط أو يستخدم العداد ذو الإبرة لقياس الضغط عند الفوهة).
- ٧- تطلق الرشاشات للدوران وتشغل ساعة الإيقاف لمدة لا تقل عن نصف ساعة.
- ٨- بعد انتهاء زمن التشغيل يتم تثبيت الرشاشات مرة ثانية خارج منطقة القياس (لا يتم إيقاف الجهاز إلا بعد تثبيت الرشاشات).
- ٩- أثناء القياس تسجل سرعة واتجاه الرياح - الرطوبة النسبية ومقدار البخار من إناء مثل إناء قياس التساقط.
- ١٠- يتم قياس حجم المياه في كل إناء (علية) بواسطة مخيار مدرج وبحسب عمق الماء الساقط بقسمة الحجم على مساحة مسطح الإناء.
- ١١- يتم حساب معدل التساقط عند كل ركن مربع (عليه) بقسمة العمق الساقط على زمن القياس في حين يتم حساب معدل التساقط نظريا باستخدام المعادلة التالية:

$$Rs = \frac{q}{S_m \times S_L} \text{ mm/h}$$

حيث أن :

$Rs$ : معدل التساقط	مم/ساعة
$q$ : تصريف الرشاش	لتر / ساعة
$S_m$ : المسافة بين خطوط الرشاشات	متر
$S_L$ : المسافة بين الرشاشات على الخط	متر

- ١٢- تكرر الخطوات السابقة تحت ظروف ضغوط تشغيل ومسافات مختلفة للخطوط والرشاشات للحصول على قيم انتظامية التوزيع لاختيار أفضلها لتشغيل النظام.
- ١٣- يفضل إجراء القياس في الصباح الباكر أو بعد العصر وذلك في ظروف عدم وجود رياح شديدة.



١٤- تستخدم العديد من المعادلات في حساب إنتظامية توزيع المياه وأكثرها شيوعاً هي معادلة Christiansen's:

$$CU = 100 \left( 1 - \frac{\sum X_i - X^a}{nX^a} \right)$$

حيث أن:

$CU$  = إنتظامية التوزيع %

$X^a$  = متوسط معدلات التساقط مم/ساعة

$X_i$  = مقدار التساقط عند كل نقطة قياس مم/ساعة

ويعتبر التصميم جيد إذا كان معدل التوزيع حوالي ٨٥ %.

مثال: احسب الإنتظامية توزيع المياه تحت رشاش بالمواصفات الآتية: المسافة بين خطوط الرش = ١٢ متراً وبين الرشاشات = ٩ متر والجدول التالي بين كمية المياه المتساقطة في كل عربة مم والانحرافات المطلقة

٦,٤	٥,٨	٨,٢	٧,٩	٦,١	٦,٠	٥,٦	٦,٢
-٠,٢	-٠,٨	١,٦	١,٣	-٠,٥	-٠,٦	١,٠	-٠,٤
٦,٢	٦,٥	٧,٩	٧,٠	٦,٥	٦,١	٥,٥	٥,٥
-٠,٤	-٠,١	١,٣	-٠,٤	-٠,١	-٠,٥	١,١	١,١
٧,٧	٨,٠	٧,٨	٨,٦	٧,٤	٦,٦	٦,٠	٦,١
١,١	١,٤	١,٢	٢,٠	-٠,٨	-٠,٠	-٠,٦	-٠,٥
٧,٢	٨,٤	٧,٧	٧,٧	٧,٤	٦,٥	٦,٢	٦,١
-٠,٦	١,٨	١,١	١,١	-٠,٨	-٠,١	-٠,٤	-٠,٥
٦,٧	٧,١	٦,٩	٦,٧	٦,٩	٥,٨	٥,٩	٥,٥
-٠,١	-٠,٥	-٠,٣	-٠,١	-٠,٣	-٠,٨	-٠,٧	١,١
٦,٧	٥,٥	٥,٥	٦,٢	٥,٨	٥,٧	٥,٢	٦,٦
-٠,١	١,١	١,١	-٠,٤	-٠,٨	-٠,٩	١,٤	-٠,٠

القيم بالنمط الغامق: كمية المياه المتساقطة في كل عربة مم

القيم بالنمط الغامق: الانحرافات المطلقة

- المسافة بين الرشاشات على الخط الفرعي = ٩ متر
- المسافة بين الخطوط الفرعية = ١٢ متر
- المسافة بين علب القياس = ١,٥ متر
- عدد نقط القياس = ٤٨ نقطة
- المجموع الكلي للمياه المتساقطة في جميع العلب = ٣١٧,٥ مم/ ساعة
- متوسط معدل التساقط = ٣١٧,٥ / ٤٨ = ٦,٦ مم/ ساعة
- المجموع الكلي للانحرافات المطلقة = ٣٥,١ مم/ ساعة
- متوسط الانحرافات = ٣٥,١ / ٤٨ = ٠,٣٧ مم/ ساعة
- انتظامية التوزيع =  $(1 - \frac{\text{متوسط الانحرافات}}{100}) \times 100$
- المتوسط العام =  $(1 - \frac{0,73}{100}) \times 100 = 99,27\%$

وتشير هذه النتيجة إلى انتظامية جيدة والشبكة سليمة.

هناك كميات مياه مفقودة بالبخر والانجراف أثناء التساقط يتم حسابها بواسطة حساب الكمية المتساقطة على الأرض، ومعرفة التصريف الكلي المقاس للرشاش وبايجاد الفرق بينهما نحصل على قيمة الفقد وتزداد هذه القيمة بزيادة درجة الحرارة وانخفاض الرطوبة النسبية وارتفاع الضغوط الهوائية وصغر فوهة الرشاش. لهذا فمن الضروري أن يكون هناك تناسب بين ضغوط التشغيل وقطر فوهة الرشاش كما يمكن تحليل تأثير سرعة واتجاه الرياح على دائرة توزيع المياه.

ومن واقع البيانات في التجربة السابقة يمكن:

- رسم خطوط كتتورية لمعدلات التساقط المتساوية
- حساب النسبة المئوية للمساحة التي لها معدلات تساقط محصور بين  $\pm 10\%$  أو  $\pm 20\%$  أو  $\pm 30\%$  من المتوسط منسوبة إلى المساحة الكلية المحصورة بين الأربعة رشاشات المختبرة والتي تعطى فكرة عن المساحة المروية الفعلية وكما زادت قيم المساحة المروية في حدود النسب المشار إليها وخاصة الـ  $10\%$  دل على ارتفاع انتظامية توزيع المياه.

هذا وتوضح نتائج اختبارات تقييم الانتظامية أى خلل فى الشبكة والوصول إلى الحل لزيادة انتظامية التوزيع، ويرجع الاختلاف فى تصرفات الرشاشات إلى:

١. الاختلاف فى الضغط على طول خط الرشاشات (خطاً تصميمي).

٢. الاختلاف فى الضغط بين خطوط الرشاشات (خطاً تصميمي).

٣. سرعة واتجاه الرياح

٤. زاوية فوهة الرشاش

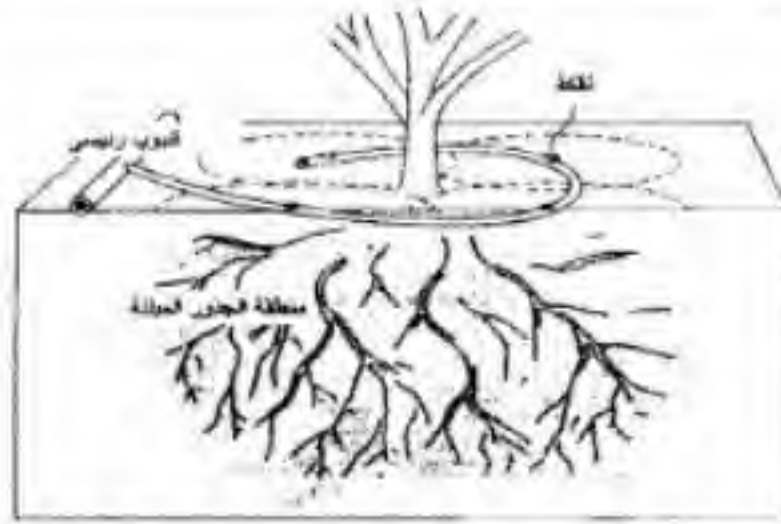
٥. وجود بعض الرمال فى مياه الري.

٦. اختلاف فى أقطار فوهات الرشاشات المركبة على خط واحد.

ويتم إجراء هذا الاختبار بصفة دورية لاحتمال تغير حالة الرشاش وسرعة دورانه بعد الاستخدام المستمر له. وعموماً أفضل مسافات بين الرشاشات على خطوطها أو بين الخطوط تساوى ٥٠-٦٠% من قطر تأثيرها.

### الري بالتنقيط Drip or Trickle Irrigation

يعتبر الري بالتنقيط من الطرق حديثة الاستعمال خلال السنوات الأخيرة وفي هذا النظام تضاف مياه الري على شكل قطرات أسفل النباتات مباشرة بشكل متكرر وبطيء ونحت ضغط منخفض وبمعدل منخفض (٢-٢٠ لتر/ساعة) من خلال شبكة من الأنابيب تحتوى عل نقاطات معا يؤدي إلى الوصول بمنطقة الجذور إلى نسبة عالية من الرطوبة قد تصل إلى ٨٠-١٠٠% من نسبة الرطوبة عند السعة الحقلية للتربة وبالتالي يتم تليل منطقة انتشار الجذور فقط (شكل ٨-١٦) على عكس نظامي الري السطحي والري بالرش الذى يضاف الماء من خاتهما على جميع أجزاء سطح الأرض.



شكل (٨-١٩) تبلييل منطقة انتشار الجذور فقط في نظام الري بالتنقيط

وتتم عمليات الري بهذا النظام بكميات محدودة من الماء وعلى فترات تطول أو تقصر تبعاً لمرحلة نمو النبات وموسم نموه والنظام يشبه لحد كبير نظام الري بالرش، من حيث وجود وحدة قوى لضخ مياه الري من مصدر المياه إلى داخل شبكة نقل وتوزيع للمياه داخل الحقل (عبارة عن خطوط مواسير رئيسية وفرعية وهذه الأخيرة تكون من البولي إيثيلين وذات أقطار صغيرة ومثبت عليها نقاط موزعة على مسافات منتظمة تختلف باختلاف نوع المحصول ومسافة زراعته أو توزيعه بالحقل،

يخرج الماء من خطوط الري بالتنقيط بمدة وسائل فإما أن يخرج من فتحات النقاطات قريباً من النبات أو يتم تركيب أنبوب صغير من البلاستيك يتصل بنقبة التنقيط لتوصيل الماء إلى النبات كما هو الحال في ري مشاتل الأشجار، إما أن تكون أنابيب التنقيط مصنوعة من البولي إيثيلين المزدوج (ذو طبقتين) حيث يحتوي الجدار الداخلي للأنبوب على عدد قليل من الثقوب أما الجدار الخارجي فيحتوي على العدد الأعظم من الثقوب وعند التشغيل يندفع الماء بين جداري الأنبوبة ويلسب من ثقوب الجدار الخارجي موفراً بذلك الاحتياجات المائية للنباتات. كم تحتوي بعض الأنظمة على غطاء منزلق على شكل قلاووظ موجود فوق ثقب النقاط بحيث يمكن إدارته والتحكم في اتساع ثقب النقاط بتوسيعه أو تضيقه وبالتالي ضبط تدفق الماء حسب المطلوب.

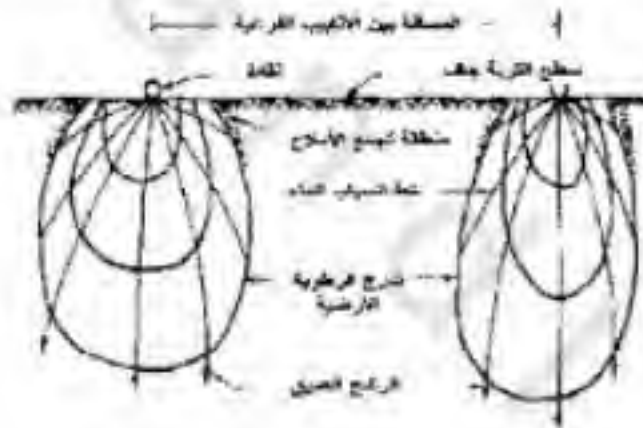
يناسب نظام الري بالتنقيط المحاصيل التي تزرع على مسافات ومحاصيل الخطوط والأشجار حيث يمكن لكل نبات أن يروى بنقطة واحد أو أكثر.

### مميزات الري بالتنقيط

١. كفاءة ري عالية لأنها تحد من حدوث فواقد مائية نتيجة البخر أو التسرب العميق.
  ٢. إمكانية تعويض الاستهلاك المائي للنبات يومياً دون الإضرار بنهوية التربة (يمكن إجراء الري كل ١-٣ أيام).
  ٣. إمكانية إضافة الأسمدة والمبيدات مع مياه الري ورفع كفاءة الاستفادة منها وقلّة أو انعدام تسرب مبيدات الكيماويات إلى المياه الجوفية وبالتالي المحافظة على البيئة.
  ٤. إمكانية استخدام مياه ري مالحة نسبياً (حتى ٢٠٠٠ جزء بالمليون).
  ٥. عدم ضرورة إجراء عمليات تسوية للأرض الزراعية حيث يمكن تطبيق نظام الري بالتنقيط في الأراضي المنحدرة وغير مستوية السطح وبالتالي زيادة المساحة المزروعة حيث لا يتم استقطاع مساحة من الأرض في إنشاء البتون ومساقى الري أو القنوات المائية داخل الحقل.
  ٦. تحد من نمو الأعشاب الضارة والحشائش وبالتالي نقص الأيدي العاملة اللازمة لمقاومة مثل هذه الآفات.
  ٧. النباتات أقل عرضة للإصابة بأمراض المجموع الخضري على عكس الري بالرش.
  ٨. مياه الصرف فيها محدودة للغاية وقد لا توجد حاجة للصرف.
  ٩. تقلل من مخاطر نحر التربة في الأراضي المنحدرة.
  ١٠. تستخدم بكفاءة عالية في ري الأراضي الرملية والملحية والأراضي التي تعاني من مشاكل ارتفاع منسوب الماء الأرضي.
  ١١. سهولة تشغيل هذا النظام وعدم الحاجة إلى عمالة كثيرة لإدارته وتشغيله.
- هذا وقد أوضحت الدراسات أن التحول من نظام الري السطحي إلى الري بالتنقيط أدى إلى خفض مقدار الماء المستخدم بمقدار ٣-٧٠% وزيادة في المحصول بمقدار ٢٠-٩٠% (Suryawanshi, 1995 and World Bank, 1993).

### عيوب الري بالتنقيط

١. يكثر في هذه الشبكات مشاكل انسداد المنقطات نتيجة للشوائب والأملاح الموجودة بالماء والحاجة إلى استبدال الخرطوم الناقعة.
٢. تكلفة الري الأولية لإنشاء الشبكة مرتفعة وقد لا تتوافر لكثير من المزارعين.
٣. تحتاج إلى عمالة فنية ومدربة.
٤. تلف أنابيب التنقيط بسبب القوارض.
٥. تعرض النباتات لخطر الاقتران بسهولة نتيجة للرياح بسبب عدم امتداد جذور النباتات في أعماق التربة.
٦. لا يخلو نظام الري بالتنقيط من مشاكل تراكم الأملاح وخصوصاً في حالة الأشجار وحول حواف حلقات الري المحيطة بها والذي يتطلب ضرورة كشط هذه الطبقة بين حين وآخر للتخلص من الأملاح الضارة (شكل ٨-١٧).

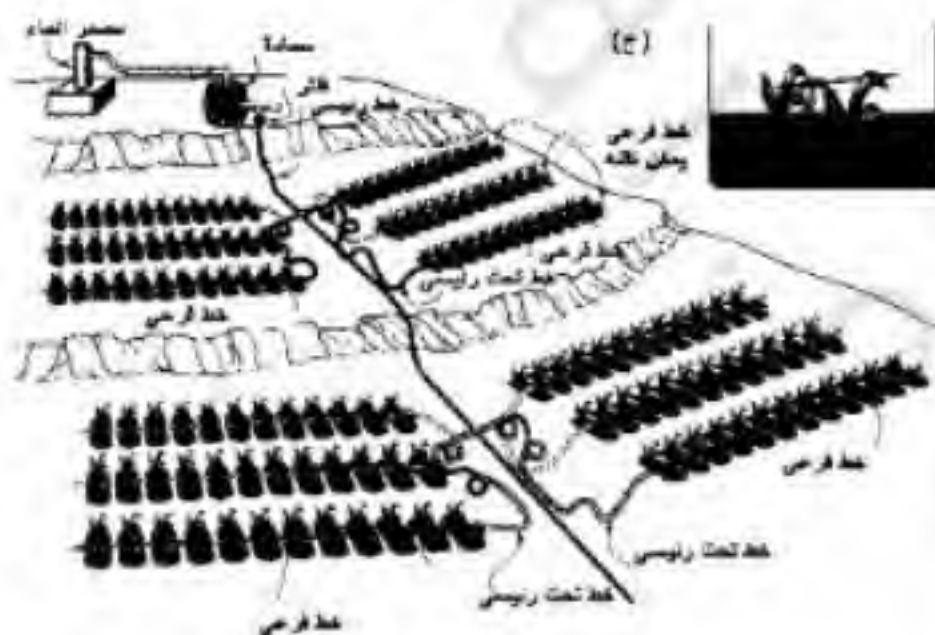
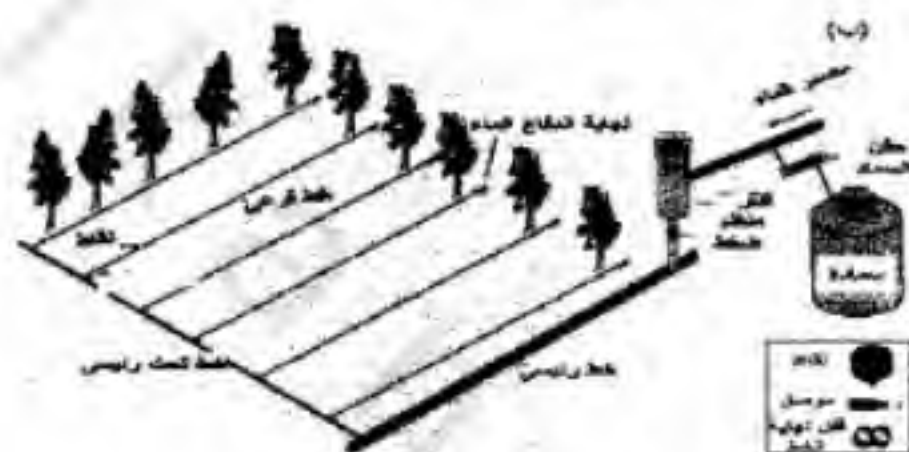
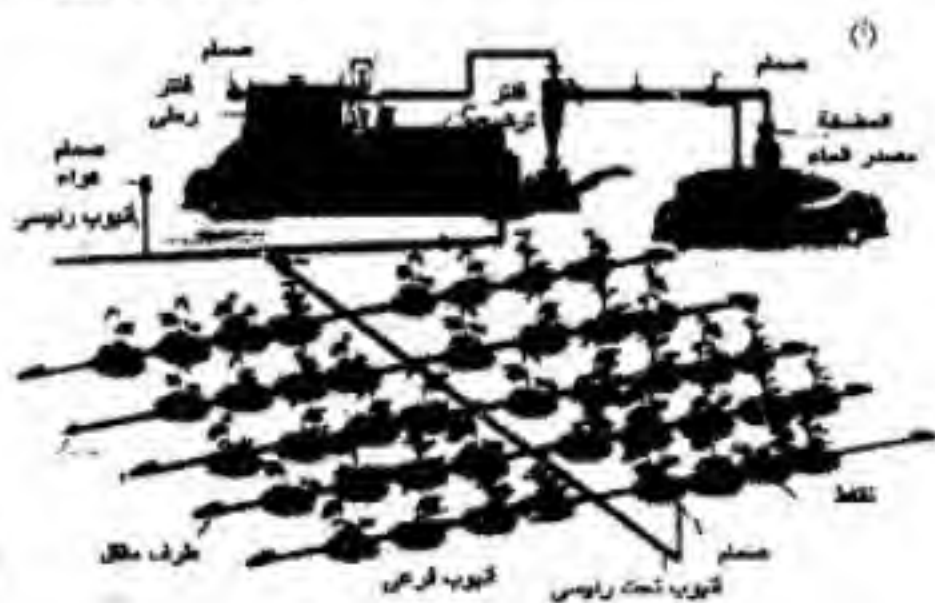


شكل (٨-١٧) تبليد منطقة انتشار الجذور فقط في نظام الري بالتنقيط

### مكونات نظام الري بالتنقيط

تتكون شبكة الري بالتنقيط من وحدة التحكم (مضخة، مرشحات أو فلتر، منظم للضغط، مضيف الكيماويات، صمامات) وشبكة الأنابيب والمنقطات كما يتضح في الأوضاع (أ، ب، ج) المختلفة في شكل (٨-١٨).





شكل (٨-١٨ أ، ب، ج) أوضاع مختلفة لمكونات شبكة الري بالتنقيط

## وفيما يلي بعض التفاصيل عن مكونات شبكة الري بالتنقيط

### ١- وحدة التحكم

أ- المضخة: تعرف المضخة بأنها وحدة ميكانيكية عملها ينحصر في سحب الماء وضخه. وتستمد قدرتها اللازمة من محرك كهربائي أو محرك احتراق داخلي. وفكرة عمل المضخة يعتمد على الضغط الجوي في رفع المياه، حيث أن مقدار الضغط الجوي يساوي ١ كجم/سم<sup>٢</sup> أو يساوي ١٠ متر من الماء على السنتيمتر المربع، لذا فإن عمود سحب الماء لا يمكن أن يزيد طوله عن ١٠ متر نظرياً ولا يزيد عن ٧ متر من الناحية العملية نتيجة لفقدان جزء من القدرة بسبب احتكاك الماء بجدران المضخة والأنابيب.

القدرة الحصانية للمضخة: هي القوة اللازمة لرفع وزن معين من الماء خلال وحدة الزمن لمسافة ثابتة. والقدرة هي الشغل المنجز في وحدة الزمن والشغل: يساوي حاصل ضرب القوة بالمسافة. ويمكن تقدير القدرة الحصانية (HP) من المعادلة التالية:

$$HP = \frac{Q \cdot H \cdot \gamma}{75 E}$$

حيث أن:

Q: نصرف المضخة (لتر/ث)

γ: الوزن النوعي (كجم/سم<sup>٣</sup>)

E: كفاءة المضخة

H: الضاغط الديناميكي الكلي (متر)

ب- المرشحات أو الفلاتر: وتعد المرشحات من أهم عناصر وحدة التحكم لتأثيرها البالغ على كفاءة المنقطات لأنها تمنع انسدادها الذي يؤثر بشكل فعال على تجانس توزيع مياه الري. ويتم تركيب الفلاتر قرب وحدة التحكم الرئيسية، هذه الفلاتر متعددة الأنواع والأشكال فمنها النوع الشبكي والذي يستخدم في حالة ما إذا كان مصدر المياه هو الآبار الارتوازية، كما يستعمل فلتر رملي إلى جانب الفلتر الشبكي في حالة استخدام مياه الترعرع أو الخزانات السطحية.

- ج- الصمامات: ووظيفة الصمامات تنحصر في تنظيم الضغط والتحكم بالتصرف.
- د- منظم للضغط: يتطلب العمل بهذا النظام تنظيم الضغط التشغيلي داخل أنابيب الشبكة، وغالباً ما توضع منظمات الضغط على الأنبوب الرئيسي والفرعي وفي بداية كل وحدة تحكم.
- هـ- مضيف الكيماويات: عادة ما تلحق شبكة الري بالتنقيط بمضيف للمخصبات أو المبيدات وغيرها وهذا يقلل من فقد الأسمدة وغيرها حيث تضاف تلك الكيماويات مع ماء الري بجوار النباتات مباشرة وأسفل جنورها، كما توفر الأيدي العاملة اللازمة لإضافتها. ويتم تركيب مضيف الكيماويات على الخط الرئيسي كما هو الحال في نظام الري بالرش سالف الذكر.

## ٢- شبكة الأنابيب والمنقطات

### أ- شبكة الأنابيب

تتضمن شبكة الري بالتنقيط على أنابيب تصنع عادة من مادة (PVC) أو البولي إيثين، وتشتمل الشبكة أنابيب رئيسية وأنابيب تحت رئيسية (أنابيب التغذية) ويصل قطرها إلى ٥ سم وأنابيب فرعية (أنابيب حقلية أو خطوط النقاطات) وتتراوح أقطارها ما بين ١٠-٢٠ مم وبطول يتراوح ما بين ٤٠-١٥٠ متر، وتكون مجهزة بالمنقطات. وفي الشبكات الثابتة تدفن الأنابيب الرئيسية تحت سطح التربة بينما تظل هذه الأنابيب مكشوفة فوق سطح الأرض في الشبكات التي يتم نقلها من مكان إلى آخر. وتغذى الأنابيب الرئيسية أنابيب التغذية بالماء ثم تنقل أنابيب التغذية الماء إلى الأنابيب الحقلية وقد تحصل الأخيرة على الماء مباشرة من الأنابيب الرئيسية.

تتباين المسافة بين المنقطات حسب الحاجة وتتراوح عادة ما بين ٣٠-١٠٠ سم في حالة استخدامها لري الخضراوات، أما في حالة ري أشجار الفاكهة فتعتمد المسافة على نوع الأشجار، وقد تكون بحدود ٣-٧ متر كما هو الحال في ري أشجار النخيل، وغالباً ما توضع الأنابيب الحقلية على سطح الأرض وعلى امتداد خط زراعة المحصول.

ب- المنقطات

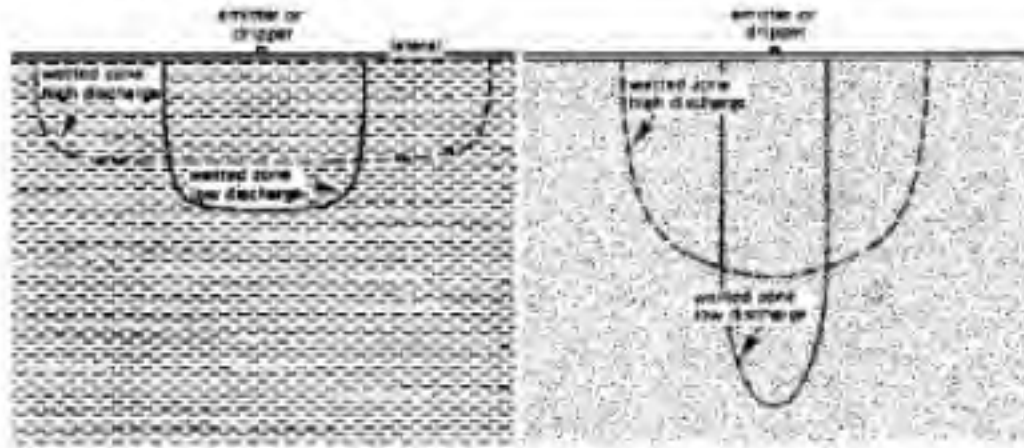
وهي تمثل الجزء الأهم في الشبكة. يمثل المنقط ملف حلزوني ذو فتحة داخلية يتم عن طريقها إيصال ماء الري من الأنبوب الحقل إلى النبات، وتصرف المنقط يتباين تبعاً لعدد اللغات الحلزونية بداخله. يتراوح تصرف المنقطات ما بين ١-٣٠ لتر/ساعة، والمنقطات تصنع أيضاً من مادة البولي إيثيلين. للاستفادة القصوى من هذا النظام يجب أن يكون المنقط قليل التكلفة، صغير الحجم، سهل الربط والتشغيل والصيانة، ذو تصرف ثابت ومنظم، ذو فتحة لتساعها مناسب لإسبح بالنسب الماء مع عدم انسدادهم. وتتعدد أشكال المنقطات كما في الشكل (٨-١٩).



شكل (٨-١٩) أنواع مختلفة من المنقطات

التوزيع الرطوبي داخل التربة في نظام الري بالتنقيط

يتم بهذا النظام إضافة المياه على جزء من سطح التربة، وبعدها يتحرك الماء في التربة نتيجة لقوى الجاذبية الأرضية والخاصية الشعرية. ويتأثر حجم المنطقة المبللة بمقدار تصرف المنقط والمسافة ما بين المنقطات ونوع التربة. ويوضح شكل (٨-٢٠) التالي تأثير التغيرات في معدل التدفق في أرض رملية وأخرى طينية



شكل (٨-٢٠) تأثير التغيرات في معدل التدفق في أرض رملية وأخرى طينية على الترتيب في نظام الري بالتنقيط

### انتظامية البث في نظام الري بالتنقيط (Emission Uniformity (EU

وهي تعبر عن مدى انتظامية توزيع المياه للنباتات أو مؤشر لانتظامية تصرف الموزعات في الشبكة والتي تتأثر تأثيراً كبيراً بالاختلاف في الضغوط والمناسيب على طول الخط القرعى، معامل الاختلاف النصنعي نتيجة لعمليات التصنيع، واستداد بعض الموزعات. ولانتظامية البث أهمية في عمليات التصميم الهندسي للشبكة.

ويمكن حساب قيمة انتظامية البث النظرية التصميمية D.EU

$$D.EU = 100 (1.0 - 1.27 C_v/n^{0.5}) q_a/q_m$$

$$D.EU_a = 50 (1.0 - 1.27 C_v/n^{0.5}) (q_a/q_m + q_m/q_a)$$

حيث أن:

D.EU: انتظامية البث التصميمية %

D.EU<sub>a</sub>: انتظامية البث التصميمية المطلقة %

q<sub>a</sub>: التصريف المتوسط والمقابل للضاغط المتوسط (لتر/ساعة) ويقع عند ٤٠% من طول الخط من البداية.

q<sub>m</sub>: أقصى تصرف ويحسب عند أعلى ضاغط على الخط (لتر/ساعة)

q<sub>a</sub>: أدنى تصرف ويحسب عند أقل ضاغط على الخط (لتر/ساعة)

أما قيمة انتظامية البث الحقلية FEU (التوزيع المقاس عملياً في الحقل) والتي على أساسها يمكن تقييم شبكة الري بالتنقيط فهي:

$$FEU = 100 \times \frac{q_n}{q_m}$$

$$FEUa = 50 \times \left( \frac{q_{min}}{q_m} + \frac{q_m}{q_x} \right)$$

حيث أن :

FEU : انتظامية البث الحقلية %

FEUa : انتظامية البث المطلقة الحقلية %

$q_{\min}$  : متوسط أقل التصريفات لعدد 1/4 من العدد الكلي للموزعات المختبرة (لتر/ساعة).

$q_m$  : المتوسط العام لتصريفات الموزعات (لتر/ساعة).

$q_x$  : متوسط أعلى التصريفات لعدد 1/8 من العدد الكلي للموزعات المختبرة (لتر/ساعة).

وبوضح جدول (٨-١) تقديرات قيم انتظامية البث FEU, FEUa طبقاً للتوصيات القياسية.

جدول (٨-١) تقديرات قيم انتظامية البث FEU, FEUa طبقاً للتوصيات القياسية

التقدير	قيم FEU, FEUa %
ممتازة	أكبر من ٩٠
جيدة	٨٠ - ٩٠
مقبولة (حرجة)	٧٠ - ٨٠
غير مقبولة	أقل من ٧٠

ويمكن تقييم شبكة الري بالتنقيط لحساب انتظامية البث من خلال إجراء الخطوات التالية:

١. اختيار أربعة خطوط موزعات على طول خط التغذية عند أول الخط وعلى بعد 1/3 من البداية و 2/3 من البداية وآخر خط.
٢. اختيار أربعة موزعات على كل خط يشمل أول موزع على الخط ثم موزع على بعد 1/3 من بداية الخط و 2/3 من البداية ثم آخر موزع.
٣. إذا كان هناك أكثر من موزع عند الشجرة تؤخذ كلها وتعتبر نقطة واحدة.
٤. في حالة الخراطيم النزازة يؤخذ طول متر واحد عند كل موقع.
٥. توضع علية ذات حجم مناسب بجوار الموزعات.



٦. يتم تشغيل الشبكة أولاً وينتظر حتى يثبت الضغط وخروج الهواء من الشبكة.
  ٧. توضع العلب تحت الموزع على أن يكون سطح العلب بمستوى سطح الأرض وفي نفس الوقت أو بالتتابع بسرعة ثابتة.
  ٨. يجرى الاختبار لمدة لا تقل عن ٢/١ ساعة.
  ٩. بعد مرور الزمن المحدد يتم إبعاد العلب من تحت الموزعات ويسجل السرعة السابقة.
  ١٠. يتم قياس حجم المياه المتجمعة بواسطة مخبر ويحسب التصريف - لتر / ساعة.
  ١١. يتم ترتيب جميع التصريفات تنازلياً وعددها ١٦.
  ١٢. يحسب متوسط التصريفات بقسمة مجموعة التصريفات الكلية على عددها (١٦)
  ١٣. يحسب متوسط التصريفات لربع عند القيم الدنيا (٤ موزعات) بقسمة مجموع تصرفاتها على عددها (٤).
  ١٤. يحسب متوسط التصريفات الأعلى لعدد ٨/١ عند الكلي (٢ موزع) بقسمة مجموع تصرفاتها على عددها (٢).
  ١٥. يجرى هذا الاختبار عند ضغوط تشغيل مختلفة ويمكن إجراء الاختبار على عدد أكبر من الموزعات وعلى سبيل المثال ٣٢، ٦٤ موزع.
  ١٦. تستخدم المعادلات السابقة في حساب انتظامية البث الحقلية ويجرى هذا الاختبار بصفة دورية حتى يمكن تلافى انخفاض قيمة الانتظامية وخاصة في حالة حدوث انسداد للموزعات فهي خير دليل على ذلك.
- مثال: احسب انتظامية البث الحقلية والحقلية المطلقة  $FEU_1$  و  $FEU_2$  وفقاً للقياسات الحقلية الموضحة بالجدول

ترتيب المنقط على خط التنقيط	التصرفات المقاسة حقلياً لتر/ ساعة			
	ترتيب خطوط المنقطات على خط التغذية			
	الخط الأول	٢/١	٢/٢	الأخير
أول منقط	٤,٥	٤,٤	٣,٥	٤,٣
٢/١ الأول	٤,١	٣,٨	٤,١	٤,٠
٢/٢ الثاني	٣,٥	٣,٢	٠,٠	٤,٢
الأخير	٤,٢	٣,٢	٤,٠	٣,٧

### الحل:

يتم ترتيب المنقطات تنازلياً

٤,٥ ، ٤,٤ ، ٤,٣ ، ٤,٢ ، ٤,٢ ، ٤,١ ، ٤,١ ، ٤,٠ ، ٤,٠ ، ٣,٨ ، ٣,٧ ، ٣,٥ ، ٣,٥ ، ٣,٢ ، ٣,٢ ، ٣,٠ ، ٣,٠

١. حساب المتوسط العام = مجموع التصرفات  $58,7 \div 16 = 3,67$  لتر ساعة
٢. متوسط التصرفات الأقل ل  $4/1$  العدد الكلي (ربع القسم الدنيا) لعند  $16 =$  مجموع التصرفات  $4 \div 9,9 = 4 \div 2,48$  لتر/ساعة
٣. متوسط أعلى تصرف ل  $8/1$  عدد القيم = مجموع التصرفات  $8,9 \div 2 = 4,45$  لتر/ساعة

$$FEU = 100 \times \frac{q_n}{q_m} \quad \text{٤. الانتظامية الحقلية}$$

$$= 100 \times \frac{2.48}{3.67} = 67.6\%$$

وهي قيمة غير مقبولة

٥. الانتظامية الحقلية المطلقة

$$FEUa = 50 \times \left( \frac{q_{min}}{q_m} + \frac{q_m}{q_x} \right)$$

$$= 50 \times \left( \frac{2.48}{3.67} + \frac{3.67}{4.45} \right) = 75$$

وهي قيمة غير مقبولة

ويرجع انخفاض الانتظامية إلى وجود انحدار كلي أو جزئي في بعض المنقطات.

## قائمة المراجع

- Childs, J.L., Wallender, W.W., and Hopmans, J.W. 1993. ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering 119(1): 74.
- Hove, P.T. 2011. Irrigation Systems: Pros and Cons.
- Postel, S. 1999. Pillar of Sand: Can the Irrigation Miracle Last? New York, New York, USA: W.W. Norton and Co.
- Suryawanshi, S.K. 1995. "Success of drip in India: An example to the Third World." F.R. Lamm, ed. Micro-irrigation for a changing world. Proceedings of the fifth International Micro-irrigation Congress, St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural Engineers.
- Tarboton, K.C. and Wallender, W.W. 1989. Field-wide furrow infiltration variability. Transactions of the American Society of Agriculture Engineers 32(3): 913.
- World Bank. 1993. Gains that might be made from water conservation in the Middle East. Washington, DC, USA.